

УДК 550.839.002.56

**УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ И
КАЛИБРОВКИ МАГНИТНЫХ
ИНКЛИНОМЕТРОВ**

А.Н. Гормаков, И.А. Ульянов

Томский политехнический университет

E-mail: gormakov@tpu.ru

Гормаков Анатолий Николаевич, канд. техн. наук, доцент
приборостроения Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: gormakov@tpu.ru

Область научных интересов: методы и средства испытаний и поверки систем ориентации.

Ульянов Илья Александрович, аспирант кафедры точного приборостроения Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: lotus@sibmail.com

Область научных интересов: методы и установки для поверки магнитных инклинометров.

Разработана и спроектирована установка для поверки и калибровки магнитных инклинометров, отвечающая современным требованиям, предъявляемым к метрологическому оборудованию в геофизической промышленности. Данная установка позволяет обслуживать инклинометры диаметром от 32 до 100 мм и массой до 100 кг. При этом установка обеспечивает пространственную ориентацию магнитных скважинных инклинометров с погрешностью не более 6' по азимутальному и апсидальному углам и не более 3' по зенитному углу.

Ключевые слова:

Скважинный инклинометр, установка для поверки и калибровки, немагнитные материалы, анализ.

Key words:

Borehole inclinometer, installation for testing and calibration, nonmagnetic materials, analysis.

Точность проводки нефтегазовых скважин по заданной траектории и последующий контроль скважин во многом зависит от метрологических параметров забойной и скважинной инклинометрической аппаратуры. Уровень погрешностей инклинометрической аппаратуры в значительной степени определяется качеством метрологического обеспечения установок для их калибровки, поверки и испытаний.

Для метрологического обеспечения инклинометрической аппаратуры на геофизических предприятиях широко распространены установки для калибровки и поверки скважинных инклинометров типа УСИ-2, УПИ-1М, УКИ-2 и др. [1, 2]. Подобные установки изготавливались в единичных экземплярах в 90-е гг. прошлого столетия. За эти годы установки уже физически и морально устарели и не удовлетворяют требованиям современной забойной и скважинной инклинометрической аппаратуры по точности. Создание новых установок является актуальной задачей.

**Основные технические требования к перспективным установкам
для калибровки и поверки скважинных инклинометров**

1. Установка должна обеспечивать пространственную ориентацию магнитных скважинных инклинометров по азимутальному и апсидальному углам с погрешностью не более 6', а по зенитному углу не более 3'.
2. Углы поворота: по азимутальной и апсидальной осям – без ограничения; по зенитному углу $\pm 90^\circ$.
3. По каждой оси должны быть установлены лимбы и нониусы для грубого отсчета, и датчик угла для точного определения угла.

4. На элементах конструкции должны быть установлены цифровые индикаторы угла поворота по каждой из осей.
5. В конструкции установки должны быть предусмотрены балансирующие устройства.
6. Все материалы конструкции и узлы должны быть немагнитными $\mu \leq 1,01$.
7. Длина поверяемого прибора не более 4 м, масса не более 100 кг.
8. Конструкция установки должна обеспечивать калибровку инклинометров разных диаметров (20...100 мм).
9. Конструкция установки должна быть удобной в эксплуатации, обслуживании и ремонте.

Модель установки для калибровки и поверки скважинных инклинометров

На кафедре точного приборостроения Томского политехнического университета в период с 2007 по 2009 гг. были проведены исследования и разработана конструкторская документация на немагнитную установку [3] для поверки и калибровки скважинных инклинометрических систем массой до 100 кг.

В данной статье рассматривается один из вариантов конструктивного решения установки наклонно-поворотной УНП-3.

В состав установки (рис. 1) входят основание – 2 с тремя регулируемыми опорами – 1, на котором смонтирован опорно-поворотный узел – 3, обеспечивающий вращение вокруг азимутальной (вертикальной) оси и воспринимающий осевую и радиальную нагрузки. Опорно-поворотный узел снабжен ручным приводом – 4. На подвижной части опорно-поворотного узла смонтированы две стойки 7. Зенитная поворотная рама – 10 установлена в подшипниках на стойках – 7. На стойках – 7 закреплен ручной привод – 9 для задания зенитного угла. В корпусе зенитной поворотной рамы – 10 в подшипниках установлен узел апсидальной оси. В этот узел посредством цанговых зажимов – 15 устанавливается поверяемый инклинометр – 14. Поворот инклинометра вокруг апсидальной оси осуществляется ручным приводом – 11.

Статическая балансировка элементов конструкции по зенитной оси осуществляется балансирующими устройствами – 13. Для контроля и установки заданных значений углов по осям подвеса на элементах конструкции установлены лимбы с нониусами, а также датчики положения азимутальной – 6, зенитной – 16, апсидальной – 12 осей и цифровые индикаторы азимутального угла – 5, зенитного и апсидального углов – 8. Для обеспечения возможности поверки приборов различного диаметра служит комплект сменных цанг. Передача электрических сигналов с поверяемого инклинометра – 11 на неподвижное основание осуществляется с помощью коллекторных токоподводов, установленных по апсидальной, зенитной и азимутальной осям.

Материалы элементов конструкции установки

Особенно много проблем возникает при создании метрологических установок и комплексов для магнитных инклинометров. Материалы деталей, узлов и устройств комплекса должны быть немагнитными. Элементы конструкции должны обладать высокой жесткостью и стабильностью точностных характеристик во времени. Подшипники установки должны обладать высокой точностью, износостойкостью и малым моментом трения.

Исходя из функционального назначения, конструкцию установки можно разделить на три типа деталей и узлов [4]:

- несущие конструктивные детали,
- подшипниковые узлы,
- передачи приводов по осям подвеса.

К конструктивным деталям относятся: регулируемые опоры, основание, верхняя и нижняя крышки азимутального узла, стойки, балансирующие устройства, узел апсидальной оси, цанговый зажим. Эти детали подвергаются механическим нагрузкам и должны обладать достаточной прочностью и жесткостью.

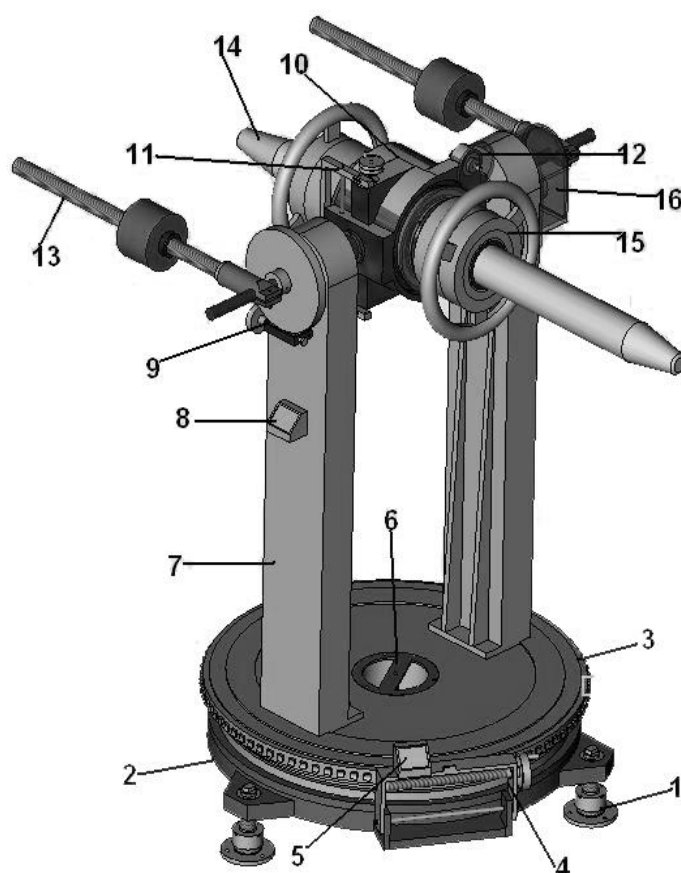


Рис. 1. Общий вид установки для поверки магнитных инклинометров: 1 – регулируемая опора; 2 – основание; 3 – опорно-поворотный узел; 4 – ручной привод азимутальной оси; 5 – цифровой индикатор азимутального угла; 6 – датчик положения азимутальной оси; 7 – стойка; 8 – цифровой индикатор зенитного и апсидального углов; 9 – ручной привод зенитной оси; 10 – зенитная поворотная рама; 11 – привод зенитной оси; 12 – датчик положения апсидальной оси; 13 – балансирующее устройство; 14 – поверяемый инклинометр; 15 – цанговый зажим; 16 – датчик положения зенитной оси

Детали подшипниковых узлов подвергаются циклическим нагрузкам. Они должны обладать высокой твердостью, износостойкостью и обеспечивать минимальный момент трения.

Механизмы приводов установки могут быть реализованы червячными, винтовыми или шарико-винтовыми передачами. Детали этих узлов должны обладать достаточной износостойкостью, сопротивлением к заеданию и износу. Повышение износостойкости деталей из немагнитных сталей марок 40Г14Н9Ф2, 40Х14Н9 и 55Г9Н9Х3 [5, 6], работающих в узлах трения достигается азотированием.

Свойства некоторых немагнитных материалов рекомендуемых для изготовления деталей установки приведены в таблице.

Обеспечивая немагнитность установки, разработчики вынуждены применять ряд нетрадиционных материалов для изготовления деталей подшипниковых узлов и механизмов приводов. Применение таких материалов возможно только после компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.

Таблица. Основные характеристики немагнитных материалов для элементов конструкции установки для поверки магнитных инклинометров [5, 6]

Наименование	Марка	Модуль упругости, Е, ГПа	Предел прочности, $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Твердость НВ, МПа	Плотность, г/см ³	Магнитная проницаемость, μ	Примеси железа, %
Конструкционные материалы							
Алюминиевые сплавы	Д16Т	72,0	450	1270	2,78	< 1,01	0,5
	В95	74,0	560...600	1500	2,85	< 1,01	0,5
Стали аустенитного класса	08Х18Н10Т	198	420...520	1350...2000	7,9	< 1,05	–
	08Х18Н10	196	470...740	1700	7,8		–
Материалы для подшипниковых узлов							
Керамика	Al ₂ O ₃	382	4000 сж.	–	–	< 1,01	–
Керамика	Si ₃ N ₄	450-520	3500 сж.	75...80 HRC	3,2	< 1,01	–
Бронза состаренная	БрБ2 тв.	130	900	3500	8,2	< 1,01	0,15
	БрНТ1,9 тв.	141	900	3300	8.3	< 1,01	–
Материалы для передач приводов по осям подвеса							
Латунь	ЛС 59-1 тв.	105	400...600	1200...1600	8,5	< 1,01	0,5
Бронза литейная	БрО10Ф1	100,9	220	880	8,7	< 1,01	0,2

Влияние упругих деформаций элементов конструкции установки на точность задания пространственного положения поверяемого инклинометра

В системе «Т-флекс Анализ» [7] проведены исследования на упругие деформации под действием нагрузок отдельных, наиболее важных деталей и узлов, а также установки в собранном виде. В качестве основного материала, из которого изготовлены детали установки, выбран алюминиевый сплав Д16Т.

На положение осей установки в пространстве влияют упругие деформации, возникающие под действием нагрузок и опрокидывающих моментов. На рис. 2 представлена модель установки для поверки и калибровки магнитных инклинометров, под нагрузкой 150 кг, приложенной на корпус зенитного опорно-поворотного узла.

Из рисунка видно, что при такой нагрузке максимальные перемещения являются для зенитного узла и составляют 9 мкм. При этом минимальный коэффициент запаса по напряжениям составляет 3,3 ед., который приходится на полуоси зенитного узла.

Под действием нагрузок и опрокидывающих моментов возникают упругие деформации, которые оказывают влияние на положение осей установки в пространстве. Линейные смещения осей установки практически не влияют на результаты поверки и калибровки инклинометра, а вот угловые смещения могут исказить картину. Так как при нагрузках на установку упругие деформации возникают несимметрично, то имеет смысл обратить внимание на некоторые узлы и детали. На рис. 2 установка повернута в самое неблагоприятное положение. Одна стойка расположена над опорой, а вторая попадает между двумя оставшимися опорами установки. В этом положении сектор опорно-поворотного узла азимутальной оси вместе со второй стойкой проседает под нагрузкой. Такое положение установки вызывает максимальное отклонение зенитной оси от горизонтальной плоскости. В связи с этим необходимо определить угол, на который отклоняется зенитная ось. Из результатов анализа (рис. 2) видно, что правый сектор опорно-поворотного узла азимутальной оси деформирован на $4,7 \cdot 10^{-6}$ м.

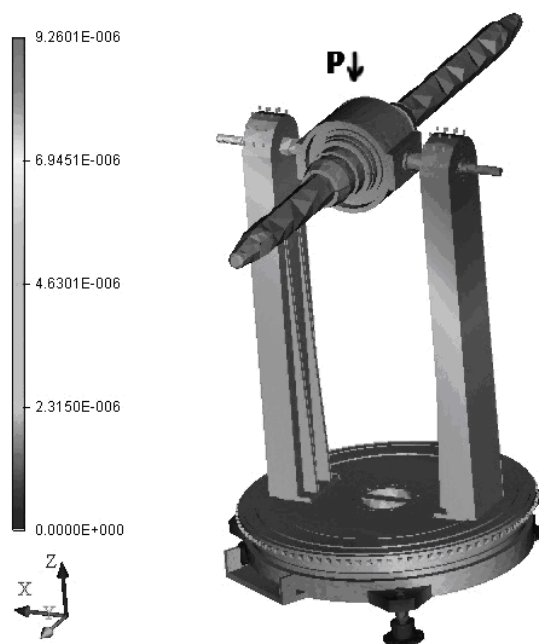


Рис. 2. Установка под нагрузкой

Угол отклонения зенитной оси можно вычислить по формуле: $\operatorname{tg} \alpha = \Delta / B$, где Δ – деформация установки под нагрузкой $4,7 \cdot 10^{-6}$ м; B – расстояние между стойками (0,85 м). При малых значениях угла $\alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx 0,02$ угл. мин.

Большого внимания заслуживает подшипниковый узел зенитной оси, так как именно в этом узле при значительных нагрузках возникают максимальные деформации (рис. 3), при этом минимальный коэффициент запаса по напряжениям, равный 1,4, приходится на шарики.

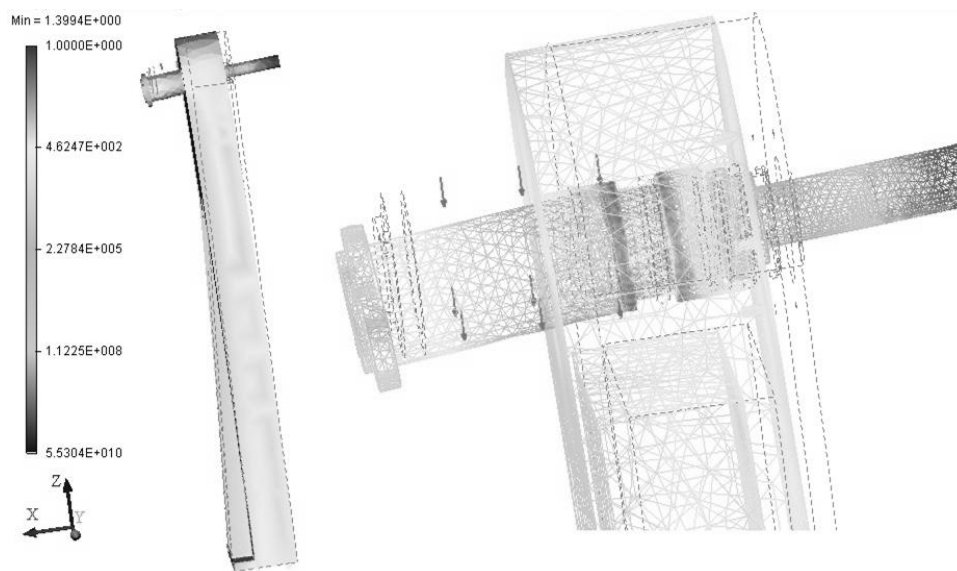


Рис. 3. Коэффициент запаса по напряжениям узла зенитной полуоси

В процессе поверки инклинометра его необходимо устанавливать так, чтобы блок его чувствительных элементов был расположен в точке пересечения осей установки. Поверяемый инклинометр может иметь достаточно большую массу (до 100 кг). Так как блок чувствительных элементов чаще всего расположен не в центре прибора, то возникает

значительный момент статической неуравновешенности конструкции установки вокруг зенитной оси.

При этом часть конструкции установки, наиболее подверженная деформации, состоит из основания и стоек. На рис. 4 показана причина возникновения опрокидывающего момента, где φ – угол упругой или пластической деформации стоек.

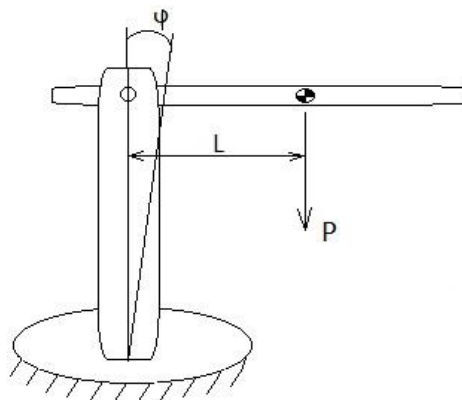


Рис. 4. Кинематическая схема образования опрокидывающего момента

Результаты анализа (рис. 5) показывают, что деформация стоек при опрокидывающем моменте 900 Н·м составляет $8,625 \times 10^{-7}$ м. Такое смещение вызывает отклонение поверяемого инклинометра от номинального положения не превышающее 0,025 угл. мин. Кроме того, опрокидывающий момент компенсируется балансировочными устройствами, имеющимися на установке. При этом деформация конструкции будет значительно меньше.



Рис. 5. Перемещение стоек под нагрузкой

Заключение

Анализ показывает, что элементы конструкции разработанной установки, имеют при действующих нагрузках достаточные коэффициенты запаса по напряжениям, а упругие

деформации конструкции вызывают погрешности задания пространственного положения поверяемого инклинометра на два порядка ниже допустимых значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарейшин З.Г. Концептуальные вопросы компоновки метрологических установок пространственной ориентации скважинной инклинометрической аппаратуры // Нефтегазовое дело. – 2006. – В. 2. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Gareyshin/Gareyshin_1.pdf (дата обращения: 14.11.2011).
2. Ковшов Г.Н., Султанаев Р.А. и др. Установка для настройки и экспериментальных исследований инклинометров // Авторское свидетельство СССР № 791957, кл. Е 21 В 47/02, 1978.
3. Голиков А.Н., Гормаков А.Н. Проблемы диагностики метрологических характеристик систем ориентации // Контроль и диагностика. – 2011. Спец. выпуск. – С. 42–46.
4. Ульянов И.А. Материалы элементов конструкции установки для поверки и калибровки магнитных инклинометров // XV Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Современная техника и технологии». – Томск, 2009.
5. Материалы в приборостроении и автоматике: справочник // под ред. Ю.М. Пятина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 528 с.
6. Справочник конструктора-приборостроителя. Проектирование. Основные нормы // под ред. В. Л. Соломахо, Р.И. Томилина, Б.В. Цитович, Л. Г. Юдовина. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – 272 с.
7. T-Flex CAD Трехмерное моделирование. Руководство пользователя. – М.: АО «Топ Системы», 2005. – 667 с.

Поступила 28.10.2011 г.